DIE RADIO-XENON-MUSKELCLEARANCE IN ABHÄNGIGKEIT VON TRAININGSBELASTUNG BEI NORMALPERSONEN

Foad Helou
aus
Rama/Nazareth
Israel

1972

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546015_0098

Aus der II. Medizinischen Klinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. E. Buchborn

DIE RADIO-XENON-MUSKEL-CLEARANCE IN ABHÄNGIGKEIT VON TRAININGSBELASTUNG BEI NORMALPERSONEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Foad Helou
aus
Zarka/Jordanien

München
1 9 7 2

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München:

Berichterstatter:	Prof.Dr.Ch.MOLL
Mitberichterstatter:	Prof.Dr.E.BUCHBORN
Dekan:	Prof.Dr.W.SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 21. 12. 1972

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	1
2	Themabegründung	1
3	Methodik	2
3.1	Zur qualitativen Beurteilung	2
3.2	Quantitative Bestimmungsmethoden	2
3.2.1	Venenverschlußplethysmographie	2
3.2.2.	Isotopen-Methoden	3
3.2.2.1	24-Natrium	3
3.2.2.2	131-Jod	4
3.2.2.3	Szintigraphie	4
3.2.2.4	Was ist ein Radioisotop?	5
3.2.2.5	133-Xenon	6
3.2.2.5.1	Eigenschaften von Xenon	6
3.2.2.5.2	Zur Technik biologischer Messungen mit Radionukliden	7
3.2.2.5.3	Theorie zur Berechnung der Muskeldurchblutung mit der Clearance-Methode	8
4	Durchführung der Untersuchung	12
4.1	Auswertung der Meßkurven	13
5	Untersuchte Personen	13
5.1	Altersverteilung	13
5.2	Geschlechtsverteilung	15
5.3	Gruppeneinteilung (Definition)	16
6	Ergebnisse	17
6.1	Auswertung der Meßergebnisse von Gruppe I	17
6.2	Auswertung der Meßergebnisse von Gruppe II	17
6.3	Auswertung der Meßergebnisse von Gruppe III	19
7	Diskussion der Ergebnisse	20
7.1	Vergleiche: rechts - links	20
7.2	Gruppenvergleiche	20
7.3	Differenzauswertung und Signifikanzprüfung	25
8	Muskeldurchblutungsbestimmung nach Altersgruppen	25

		Seite
9	Diskussion	28
9.1	Eignung der Meßmethode	28
9.2	Begründung der besseren Muskeldurchblutung bei Armarbeit	29
9.3	Statistik	30
9.4	Folgerungen für die Messung der Muskeldurchblutung	31
9.5	Ist ein verbindlicher Normalwert möglich?	32
10	Zusammenfassung	33
11	Literaturverzeichnis	35
12	Lebenslauf	37

1

Die Früherkennung einer Krankheit ist von großer Bedeutung für die Durchführung einer erfolgreichen Therapie. Eine allgemeine Untersuchung der peripheren Muskeldurchblutung in der domestizierten und zivilisierten Bevölkerung würde zeigen, daß die Zahl der Patienten mit peripheren Durchblutungsstörungen sehr groß ist. Sie wird größer, je breiter und genauer die angelegte Untersuchung ist (vgl. die Ergebnisse der Röntgenreihenuntersuchung, die Erhebung der Diabeteskranken 1969 usw.).

2

Sicher wird die periphere Durchblutung der Extremitätenmuskulatur bei Gesunden vom Grad der berufsbedingten körperlichen Belastung mitbestimmt.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist die Messung der Muskeldurchblutung an der oberen Extremität. Die Beurteilung der Meßergebnisse erfolgt in Abhängigkeit vom Schweregrad der körperlichen Arbeit (Armbelastung). Alter, Beruf, Dauer der speziellen Berufe mit Armbelastung, wurden in die Untersuchung einbezogen.

Die Messungen des Durchblutungsvolumens wurden mit der 133-Xenon-Muskelclearance durchgeführt, die 1964 erstmals von N.A. LASSEN und I.F. LINDBJERG (9) in Kopenhagen publiziert wurde.

3 Methodik

Um die Durchblutung der menschlichen Extremitäten exakt quantitativ zu bestimmen, wurden verschiedene Methoden entwickelt: Neben einfachen Methoden für die qualitative Beurteilung der Durchblutung wie die Hautfarbe, periphere Pulsbelastung, Temperaturmessung, bis zu komplizierten oszillographischen und Isotopen-Verfahren.

3.1

Zur qualitativen Beurteilung und Methodik sei auf die aus dem gleichen Arbeitskreis erschienenen Veröffentlichungen von PFLEGHAR (13) und PESCHARTSCHEK (10) verwiesen, die in ihren Arbeiten Einzelheiten ausführlich darstellen.

3.2

Quantitative Methoden zur Beurteilung der Extremitätendurchblutung:

3.2.1

Venenverschlußplethysmographie:
Neben der qualitativen Beurteilung des Schweregrades obliterierender Gefäßerkrankungen gibt es zur Objektivierung der Wirkung therapeutischer Maßnahmen quantitative Aussagen. Häufig wird die Venenverschlußplethysmographie angewendet.

Prinzip der Methode:
Die Volumenänderung des in einem Plethysmographen eingeschlossenen Teiles einer Extremität wird durch die Veränderung einer entsprechenden Wassermenge angezeigt. H. HESS (3). Ein kleines Volumeter setzt die Ausschläge in elektrische Spannung um, die auf einem Registriergerät fortlaufend aufgerechnet werden können. Die Ausschläge des Schreibsystems können durch Zugabe bekannter Luftvolumina geeicht werden.

Durch venöse Stauung proximal der Meßstelle bei fortbestehendem arteriellem Zufluß wird eine Volumenvergrößerung distal der Stauung hervorgerufen; die anfängliche Volumenvermehrung

entspricht der Größe des unbehinderten arteriellen Einstroms, d.h. der Durchblutung.

Bei dieser Methode wird schließlich der mögliche Abstrom in Knochenvenen und arteriovenösen Anastomosen außeracht gelassen. Außerdem läßt diese Methode die Muskeldurchblutung praktisch nicht von der Hautdurchblutung trennen.

Obwohl die Venenverschlußplethysmographie - vor allem seit der Vereinfachung durch H. HESS (3) - eine äußerst wertvolle Hilfe bei der Beurteilung der Muskeldurchblutung oder obliterierender Gefäßerkrankungen darstellt, läßt sie doch aus den erwähnten Gründen manche Lücke offen.

Die quantitative Aussage muß nach neueren Erkenntnissen einschränkend gewertet werden.

3.2.2
Durchblutungsmessung an Extremitäten mit Hilfe der Radionuklide.
SMITH B.C. und E.H. QUIMBY (14) führten 1944 die Radioisotopen in die Kreislaufdiagnostik der Extremitäten ein.

Eine kleine Menge eines radioaktiven Stoffes wird direkt als Depot in das zu untersuchende Gewebe injiziert.

Die Abtransportgeschwindigkeit dieses radioaktiven Stoffes wird mittels seiner emittierten Strahlung über ein Geiger-Müller-Zählrohr bzw. einen Szintillationszähler über die Zeit verfolgt. Normalerweise nimmt die Impulszahl annähernd exponentiell ab, so daß ihre halblogarithmische Darstellung eine Gerade ergibt. Die Geschwindigkeit des Abtransportes berechnet man aus der Neigung dieser Geraden.

3.2.2.1

Als Substanz nahm S.S. KETY (6) 1948 24 Natrium. Er gibt an, daß in acht untersuchten Fällen der Abtransport, die "Clearance", einer einfachen Exponentialkurve folgte und so die theoretische Ableitung in ihrer Brauchbarkeit bestätigt. Die Zählraten wurden in Abständen von einer Minute semilogarithmisch

aufgetragen. Die Steigerung der so entstandenen Geraden bezeichnete KETY als "Clearance constant". Sie ist dem Natriumabtransport aus dem Depot und somit dem lokalen Blutfluß proportional.

KETY (7) ermittelte die Konstante in Ruhe und in reaktiver Hyperämie (nach Stau) sowie nach einer Minute Arbeit der Extremität. Er fand dabei Konstanten von 0,033 (Ruhe) bis 0,173 (Hyperämie).

Eine der Hauptfehlerquellen bei KETYs Messungen bestand darin, daß für das Natrium die Zellmembranen Diffusionshindernisse darstellen. Der Na-Abtransport hinkt außerdem im Falle einer plötzlich einsetzenden Hyperämie nach und somit werden zu geringe Werte für die Durchblutung in dieser Phase erreicht.

3.2.2.2

PABST, H.W. und W. WALCHNER (12, 11) versuchten, nachdem die Verwendung von radioaktivem Phosphor nicht ganz befriedigte, eine Durchblutungsmessung aus der Clearance-Bestimmung von Na 131J.

Es wurde ebenfalls die Abnahme der Gamma-Strahlung pro Zeit bestimmt und so bei Schreibung im semilogarithmischen System eine Gerade erhalten, aus deren Neigung der quantitative Abtransport berechnet wurde. Auch für diese Untersuchungsreihen gilt das in 2.2.1 Gesagte.

3.2.2.3

Als grob abschätzendes semiquantitatives Verfahren ist die Extremitätenszintigraphie mit Makroaggregaten zu betrachten. Das Verfahren besitzt derzeit keine ausreichende Anerkennung, eine Beschreibung erübrigt sich deshalb.

Zu den Untersuchungen und Messungen, über die die vorliegende Arbeit berichten soll, wurde die Radioxenonmethode (radioaktives Isotop des Edelgases Xenon) verwendet, die LASSEN (9) und Mitarbeiter 1964 angegeben haben. Diese Methode hat in

den letzten Jahren größere Verbreitung gefunden, da sie die Möglichkeit der Messung von nutriver Durchströmung und funktioneller Durchblutung eines bestimmten Gefäßabschnittes gibt, wobei vor allem die Endstrombahn, also der Bereich der Praekapillaren, Kapillaren, Venolen und Mesvenolen, in einer anschaulichen und vergleichbaren Dimension (ml/100 g/min) beurteilt werden kann (HYMAN, C. (4)).

Die Eignung der 133-Xenon-Clearance in der klinischen Routine wurde von KLEMM (5), PESCHARTSCHEK (10), PFLEGHAR (13) und FRAIZEL (2) an Hand von vielen Meßergebnissen im Vergleich zu anderen Untersuchungsmethoden bestätigt.

3.2.2.4

Was ist ein Radioisotop?
Elemente mit gleicher Ordnungszahl, aber verschiedenem Atomgewicht, bezeichnet man als Isotopen. Isotopen haben die gleichen chemischen Eigenschaften, da sie die gleiche Atomhülle besitzen. Auf Grund der verschiedenen Neutronenzahl im Atomkern unterscheiden sie sich aber physikalisch.

Die Stabilität eines Atoms ist nur so lange vorhanden, solange die für ein bestimmtes Atomgewicht definierte Neutronenzahl im Kern vorliegt. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, ist der Atomkern instabil, d.h. er zerfällt unter Aussendung radioaktiver Strahlung. Derartige Isotopen werden als "Radioisotope" bezeichnet.

Solche Isotope mit radioaktiver Strahlung kommen in der Natur vor, sie können aber auch durch Neutronenbeschuß künstlich erzeugt werden. Sie können "nach Maß" eingesetzt werden, d. h. es kann das Isotop mit der für die Untersuchung günstigsten Strahlungsart und Halbwertszeit ausgewählt werden.

Neben der Wirtschaftlichkeit ist bei der Auswahl des Isotops vor allem die Strahlenbelastung des Patienten und Untersuchers zu beachten.

Während der Arzt nur für die Dauer der Untersuchung der radioaktiven Strahlung ausgesetzt ist, besteht für den Patienten,

dem ein Radionukleid appliziert wurde, unter Umständen, eine längere Exposition, die durch die effektive Halbwertszeit des Isotops bestimmt wird; diese resultiert aus physikalischer und biologischer Halbwertszeit eines inkorporierten radioaktiven Stoffes.

3.2.2.5

133-Xenon

3.2.2.5.1

Xenon ist ein Edelgas, es verhält sich chemisch inert. Im Gegensatz zu Natrium tritt es nicht mit Zellmembranen in Beziehung. Es kennt keine Gewebsbarrieren, sondern verteilt sich gleichmäßig in allen Gewebsräumen, ohne irgendeine lokale Veränderung außer seiner Anwesenheit zu verursachen. Dieser Umstand bedingt, daß seine Elimination nur von der Gewebsclearance abhängig ist und in strenger Beziehung zur Durchblutung steht. Es entfallen beim Xenon die bei Natrium möglichen Diffusionshindernisse wie Membranwirkungen oder elektrische Einflüsse aufgrund der positiven Ladung.

133-Xenon kommt in der Natur nicht vor. Es wird durch Neutronenbeschuß von 132-Xenon künstlich gewonnen, seine physikalische Halbwertszeit beträgt 2,3 Tage.

Biologische Halbwertszeit: Der größte Teil (je nach Lungenfunktion 70 - 90 %) des auf dem Blutweg aus dem Depot ausgewaschenen 133-Xenon wird durch die Lunge (Xenon wird nur durch die Lunge ausgeschieden) bereits beim ersten Kreislaufdurchgang abgeatmet (im Gegensatz zu wasser- oder lipoidlöslichen Substanzen).

Gerade wegen seiner willkommenen Eigenschaften, besonders seiner weichen Strahlung von Gamma (81 Kev) und seiner Halbwertszeit hat 133-Xenon erhebliche Vorteile gegenüber 24-Natrium-Ion. (Verteilungskoeffizient: Gewebe/Blut = 0,71 $\pm$ 0,06 bei Hct von 40.)

3.2.2.5.2

Zur Technik biologischer Messungen mit Radionukliden:

Radionuklide senden aufgrund des Kernzerfalles Strahlen aus. Als Maßeinheit für die Aktivität - was der Zahl der Kernzerfälle entspricht, die in einem radioaktiven Material pro Zeiteinheit stattfinden - , wurde das Curie gewählt:

1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Zerfallsakte pro Sekunde.
Es entspricht ziemlich genau der Radioaktivität von 1 g Radium (WESTPHAL, W.H. (16)).

Die Zahl der emittierten Quanten pro Zeiteinheit wird mit dem Szintillationszähler bestimmt. Die Gamma-Quanten erzeugen im Szintillationskristall (mit Thallium aktiviertes Natriumjodid) Sekundärelektronen. Diese wiederum erzeugen im Kristall Szintillationen.

Das Licht setzt auf einer Photokathode Elektronen frei, die in mehreren Spannungsfeldern beschleunigt werden. Sie lösen daher an der Schlußelektrode ein Vielfaches der ursprünglich an der Photokathode freigesetzten Elektronen aus. Der Eingangsimpuls wird somit bis millionenfach verstärkt, so daß das Zählgerät einen meßbaren Spannungsimpuls erreicht.

Vom Zähler werden die erfaßten Impulse an ein mechanisches Schreibgerät weitergegeben. Über einen Transformatorverstärker kann die von der Schlußelektrode abgenommene Spannung noch zusätzlich für die verschiedenen Bereiche des Schreibgerätes variiert werden.

Durch entsprechende Wahl der Zeitkonstante läßt sich zu jedem Zeitpunkt das Integral der Zählraten während einer eingestellten Zeit aufzeichnen.

Da es sich bei Kernzerfällen um einen statistischen Prozeß handelt, wird der prozentuale Fehler mit steigender Zahl der Zerfälle/sec kleiner. Der mittlere statistische Fehler ist gleich der Quadratwurzel der registrierten Impulszahl. Somit ist ein Kompromiß zwischen gewünschter Genauigkeit und der dem Patienten zumutbaren Strahlendosis notwendig, aber in jedem Falle möglich.

3.2.2.5.3

Theorie zur Berechnung der Muskeldurchblutung mit der Clearancemethode:

Es sind folgende physikalischen Gesetze von Bedeutung:
Die Zählrate die über einer radioaktiven Substanz gemessen wird, ist bei gleicher Isotopenart direkt proportional der Menge des strahlenden Materials (in unserem Falle braucht das Zerfallgesetz nicht berücksichtigt werden, da die Halbwertszeit der für die Messungen verwendeten Substanz "133-Xenon" gegenüber der Meßdauer groß ist). Nach dem NERNSTschen Verteilungsgesetz ist der Quotient der Konzentrationen eines sich zwischen zwei Phasen verteilenden Stoffes bei gegebener Temperatur konstant.

Das erste FICKsche Prinzip:

Die Menge ΔM eines Gases, das infolge Diffusion durch eine Fläche tritt, ist der Größe dieser Fläche, dem Gefälle der Partialdrucke und der Zeit proportional.

$$M = -D.q.\frac{d\,p}{d_x} \cdot \Delta t \qquad \text{..... 1. Fick'sches Gesetz}$$

(D = Diffusionskonstante)

oder:

$$\Delta \nu = -D.q.\frac{d_c}{d_x} \cdot \Delta t, \text{ wobei } c = \frac{p}{M}\ \left(\frac{\text{Mol}}{\text{Volumeneinheit}}\right)$$

ν = Zahl der durch q während Δt hindurchtretenden Mole.

Spezielle Berechnung nach LASSEN, N.A.; J. LINDBJERG und O. MUNCH (8). CONN, H.D. jr. (1) bestimmte den Verteilungsquotienten für 133-Xenon zwischen Muskel und Blut experimentell:

$$c_{\text{Muskel}} = \lambda \cdot c_{\text{Blut}} \quad \text{... (1)}, \qquad c_{\text{Muskel}} = \frac{\mu\text{ci } ^{133}\text{Xenon}}{1\text{ g Muskel}}$$

λ = 0,70 (bei Hct. von 40), $c_{Blut} = \frac{/uci\ 133Xenon}{1\ ml\ Blut}$

Da Xenon an Erythrozyten etwa dreimal so fest wie an Plasma gebunden wird, ergeben sich für verschiedene Hämatokritwerte auch verschiedene Lambda. Die Autoren verwendeten jedoch für alle Patienten, λ = 0,70, da der Fehler zu vernachlässigen ist. Bei einem wirklichen Hct. von 45 beträgt der Fehler in der Endangabe ml/100 g/min ~5 %, wenn trotzdem mit λ = 0,70 gerechnet wird.

Nach dem FICKschen Prinzip gilt:

$Q = F.(c_a - c_v)$ ..... (2)

Q = Menge des Xenon in /uCi im Gewebe zu einer beliebten Zeit.

$Q' = \frac{dQ}{dt}$ ..... (2a)

Q' = 1. Ableitung von Q nach der Zeit t

F = Blutfluß/min in dem Gewebsblock, der das Isotop enthält.

$c_a = \frac{/uci\ Xenon}{ml}$ arteriell $c_v = \frac{/uci\ Xenon}{ml}$ venös

F entspricht $\frac{1}{100} \cdot MBF \cdot W$ .....(2b)

W = Gewicht des Muskels in g, wobei MBF der Blutfluß pro 100 g Gewebe ist. c_a ist praktisch 0, da durch die sofortige Ausscheidung der venös abtransportierten Isotopenmenge durch die Lunge ein meßbarer arterieller Rückstrom von 133-Xenon nicht erfolgt, LASSEN (9).

Durch Einsetzen (2b) in (2) und Berücksichtigung c_a = 0 erhält man:

$Q' = -\frac{1}{100} \cdot MBF \cdot W \cdot c_v$

oder:

$MBF = -Q' \cdot 100 \cdot \frac{1}{W \cdot c_v}$ $\left[\frac{ml}{100\ g \cdot min}\right]$ ..... (3)

Nach (1) gilt:

$$c_v \cdot W = \frac{1}{0{,}70} \cdot c_M \cdot W = \frac{1}{0{,}70} \cdot Q \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Einsetzen von (4) in (3) ergibt:

$$MBF = - Q' \cdot 100 \cdot \frac{0{,}70}{Q} \left[\frac{ml}{100\ g \cdot min}\right] = MBF = - \frac{Q'}{Q} \cdot 70 \left[\frac{ml}{100g \cdot min}\right]$$

$$\ldots\ldots\ldots (5)$$

Daraus folgt für die der vorhandenen Menge Xenon direkt proportionale Zählrate: $Q \sim Z \qquad Q' \sim Z'$

$$- MBF = const. \frac{dz}{dt} \cdot \frac{1}{z} \qquad - \int MBF.dt = \int \frac{dz}{z} const.$$

$$z(t) = z(o)\ e^{-const.MBF.t}$$

d.h. die Zählrate nimmt mit der Zeit exponentiell ab. Zeichnet man den gemessenen Ablauf der Zählrate linear auf und überträgt man ausgewählte Kurvenpunkte auf semilogarithmisches Papier (Abszisse = t; Ordinate = log. Zählrate), erhält man eine Gerade g.

Da $Q' = \frac{dQ}{dt}$ (2a), gilt: $\frac{d\ln Q}{dt} = \frac{Q'}{Q}$

$$\frac{d\ln Q}{dt} = \ln 10 \cdot \frac{d\log Q}{dt} = 2{,}306 \frac{d \log Q}{dt} \qquad \ldots\ldots\ldots (6)$$

$$\frac{d \log Q}{dt} = D = \text{Steigerung der Geraden g.} \qquad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Aus 5, 6, 7 erhält man die Berechnungsformel:

$$MBF = 70.2{,}306.D = 161.D \frac{ml}{100\ g.min}$$

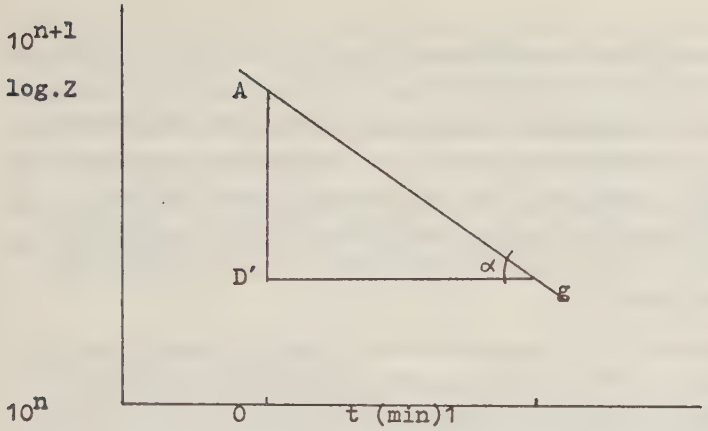

Abb.1: Schematische Darstellung einer auf "semilogarithmisches Papier" übertragenen Clearancekurve (Abszisse = t, Ordinate = log.Zählrate)(nach F.PFLEGHAR, 13)

Da als Zeit stets 1 min genommen wird, ergibt sich als Steigerung von (g) = (tan α) stets $\frac{D}{1}$. D ist somit unmittelbar aus der graphischen Darstellung abzulesen, und zwar als Quotient:

$$\frac{\text{Länge der Strecke AD' (mm)}}{\text{Länge der gesamten Dekade (mm)}}$$

Umfaßt z.B. eine Dekade auf dem Papier 100 mm und beträgt AD' 25 mm, ergibt sich ein D von 0.25. Der Faktor D charakterisiert somit den Anteil einer Dekade, um den die Zählrate pro Minute abfällt.

4 Durchführung der Untersuchung

Über die Extensorengruppe des Unterarms eines auf dem Untersuchungstisch liegenden Patienten, wird beidseits eine entsprechende Stelle markiert. Man solle genau darauf achten, daß sich im Bereich der Markierungsstelle (Injektionsstelle) weder Narben und sonstige Hautveränderungen, noch Gefäße oder gar Varizen befinden.

Nach anschließender Oberflächendesinfektion mit Alkohol, wird mit einer Kanüle (Größe 14-16) an den Markierungsstellen je 50 µCi 133-Xenon-Lösung bei einer Einstichtiefe von ca 1-2 cm injiziert. Dabei wird sorgfältig auf die Freihaltung der Haut von Xe-Lösung geachtet. Das Anstechen von Gefäßen ist zu vermeiden. Die bei-den Kollimatoren des Szintillationszählers werden so eingestellt, daß sie der Haut über den Markierungsstellen ohne Druck anliegen. Der optimale Meßbereich für beide Zählkanäle wird gewählt. Nach einer kurzen Adaptionszeit "Verteilungszeit", deren Ende sich am Flachwerden der Clearancekurve zeigt, wird über die Dauer von ca. 5 min die Ruhe-Durchblutung aufgezeichnet.

Die bei Versuchsbeginn angelegten Oberarmmanschetten werden soweit aufgepumpt, bis der arterielle Zustrom durch einen Druck von ca. 250 mmHg sicher unterbunden wird. Nach einer kurzen Zeit (ca. 1 min) führt der Patient auf Anweisung regelmäßig und kräftig rhythmische Handbewegungen (Palmar- und Dorsalflexion) während 3 Minuten aus.

Anschließend wird bis zum Lösen der Drucksperre noch 2 Minuten gewartet, so daß eine ischämische Phase von über 6 Minuten besteht. Vor dem Öffnen der Manschettenventile soll darauf geachtet werden, daß die zwangsläufig durch die Bewegung der Hände verschobenen Kollimatoren wieder exakt über die Injektionsstellen in Hautkontakt gebracht werden und eine evtl. notwendig gewordene Nachstellung am Gerät vorgenommen wird.

Nach der 6-minütigen ischämischen Phase wird die Kompression durch Ablassen der Druckluft gelöst. Nach kurzer Zeit (Verzögerungszeit) schießt das Blut in die maximal erweiterten Gefäße ein. Es erfolgt ein rasches Anwachsen der hyperämischen

Durchblutung, was in einem steilen Abfall der geschriebenen Aktivitätszeitkurve zum Ausdruck kommt. Nach spätestens 2 Minuten geht die reaktive Hyperämie beim Gesunden in eine flache Ruhedurchblutungskurve über, womit die Untersuchung abgeschlossen wird.

Es werden der Zeitabstand (Lösen der Stauung bis Einsetzen der Hyperämie) sowie die Dauer der Hyperämie bestimmt.

4.1

Auswertung der Meßkurven:
Aus den Meßkurven wird der Wert von D ermittelt (D = Steigerung der Gerade g (Abb. 1 graphisch), oder als Quotient des natürlichen Logarithmus). Im ersten Verfahren werden die linear aufgeschriebenen Zählraten auf semilogarithmisches Papier übertragen.

Für die graphische Auswertung nimmt man einen Minutenabschnitt z.B. der Ruhekurve, unterteilt den in Viertelminutenstreckenabständen. Unter Berücksichtigung des gewählten Meßbereiches werden die Zählraten zu diesen Zeitpunkten auf semilogarithmisches Papier übertragen. Aus der auf diese Weise konstruierten Geraden wird D ermittelt (Kap. 3.2.2.5.3)

D x 161 = Muskeldurchblutung in ml/100 g/min.

5 Untersuchte Personen (obere Extremität)

Insgesamt wurden 128 Clearancebestimmungen an den oberen Extremitäten (64 Patienten) mit Hilfe der 133-Xenon-Methode, wie in Kapitel 4 beschrieben wurde, für die vorliegende Arbeit durchgeführt.

Alle untersuchten Patienten sind klinisch gefäßgesund. Sie befanden sich wegen anderer Erkrankungen zur stationären Behandlung in der Klinik.

5.1

Da die untersuchten Personen von vornherein nicht nach dem

Alter zur Clearancebestimmung ausgewählt wurden, scheint es zweckmäßig, einen Überblick über die Altersverteilung aller untersuchten Personen zu geben. Die Altersverteilung geht aus Abbildung 2 hervor.

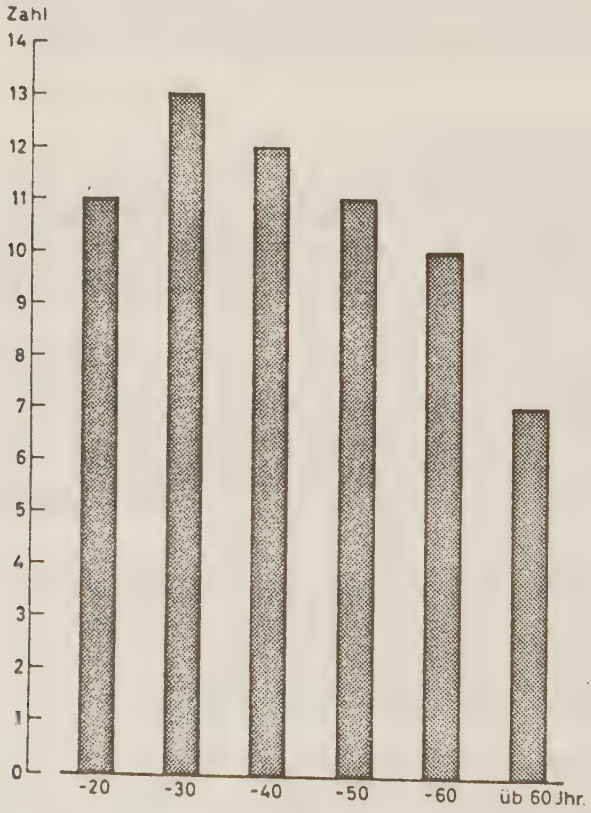

Abb. 2: Altersverteilung der untersuchten Personen in Jahren, AG = Altersgruppe, N = Gesamtzahl der Personen pro AG, N% = prozentualer Anteil von N bezogen auf die Zahl aller Personen

AG	-20	-30	-40	-50	-60	über 60	
N	11	13	12	11	10	7	= 64
N%	17,2	20,3	18,8	17,2	15,6	10,9	= 100 %

Tab. 1: Dekadische Altersverteilung der untersuchten Personen mit prozentueller Verteilung

Wie es aus Abbildung 2 zu entnehmen ist, sind die untersuchten Patienten in Bezug auf dekadische Altersgruppen ungefähr gleich stark vertreten.

5.2

Die Geschlechtsverteilung der untersuchten Patienten ist in Abbildung 3 dargestellt:

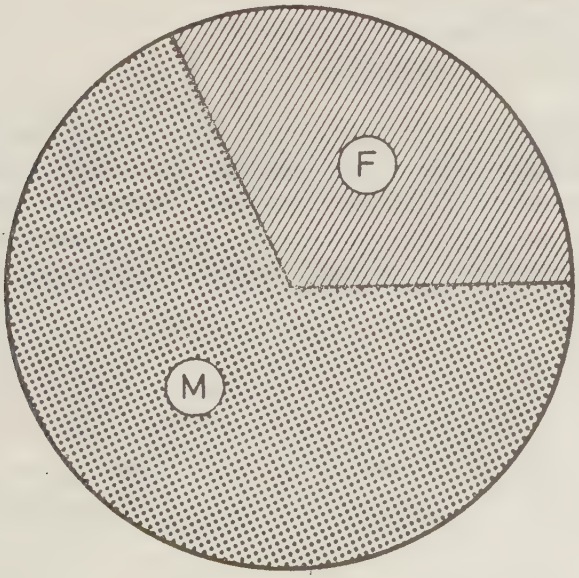

Abb. 3: Geschlechtsverteilung des Gesamtkollektivs (M = Männer, F = Frauen)

Männer	44	68,75 %
Frauen	20	31,25 %
gesamt	64	100 %

Tab. 2: Geschlechtsverteilung des Gesamtkollektivs der Patienten (N = Zahl der Patienten, N% = prozentualer Anteil von N bezogen auf die Zahl aller Personen)

5.3 Gruppeneinteilung

Die untersuchten Patienten wurden nach Grad der Armbelastung durch die von ihnen ausgeübte Tätigkeit in drei Gruppen geteilt:

Gruppe I : Starke Armarbeit
Gruppe II : Mittelgradige Armarbeit
Gruppe III: Leichte Armarbeit

Es wurde die Muskeldurchblutung in der Ruhe und dann nach einer ischämischen Phase, die reaktive Hyperämie sowohl am rechten wie auch am linken Arm gemessen. Außerdem wurden die Verzögerung (die Zeit nach Auslösen der Stauung am Arm bis zum Einsetzen der Hyperämie) und die Hyperämiedauer in Sekunden festgelegt.

6 Ergebnisse

6.1

Gruppe I, starke Armbelastung:
Für diese Gruppe wurden 34 Clearancebestimmungen am rechten und linken Arm (17 Personen) durchgeführt. Es handelt sich um männliche Personen folgender Berufsgruppen: Bergmann, Landwirt, Elektro-Schweißer, Glas-, Hilfsarbeiter, Modellbauer, Automechaniker, Vulkaniseur, Spengler, Monteur, Tankwart und Drucker. Das Durchschnittsalter betrug 38,11 Jahre.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der Muskelclearancebestimmungen in Ruhe und reaktiver Hyperämie:

Gruppe I	N	Ruhe (ml/100g/min)	reak.Hyperämie (ml/100g/min)	Verzögerung (sec)	Dauer (sec)
rechts	17	4,32 ± 1,81	66,31 ± 29,27	9,2 ± 6	91,8 ± 40,43
links	17	4,29 ± 2,15	61,95 ± 30,36	10 ± 6,06	98,8 ± 44,7

Tab. 3: Ergebnisse von 34 Clearancebestimmungen der Gruppe I am rechten und am linken Unterarm in Ruhe und reak.Hyperämie, dazu die Verzögerungszeit und Dauer der Hyperämie

Wie aus Tabelle 3 zu entnehmen ist, ist die Muskeldurchblutung in Ruhe sowohl am rechten (4,32 ml/100 g/min) wie auch am linken Unterarm (4,29 ml/100 g/min) fast gleich. Bei der reaktiven Hyperämie zeigt sich eine stärkere Zunahme der Durchblutung um 4,36 ml/100 g/min) am rechten Arm. Der rechte Arm wird bei der Arbeit "bei Rechtshändern" schwerer beansprucht.

Die hyperämische Phase besteht am linken Arm (98,8 sec) länger als am rechten (91,8 sec; Δ = 7 sec).

6.2

Gruppe II, mittelgradige Armarbeit:
Für diese Gruppe wurden 62 Clearancebestimmungen am rechten und linken Unterarm (31 Personen) durchgeführt. Es handelt sich

um Personen folgender Arbeitsgruppen: Hausfrau, Friseur, Soldat, Krankenpfleger, Lokomotiv-Führer, Kranfahrer, Hausangestellte, Angestellte, Kaufmann, Näherin, Elektro-Installateur, Fußbodenleger, Fahrzeugfertigmacher, technischer Zeichner, Mechaniker, Elektriker, Serviererin, Ingenieur.

Dem Geschlecht nach verteilen sich Mitglieder dieser Gruppe:

	N	N%
Männer	17	54,86
Frauen	14	45,14
gesamt	31	100

Tab. 4: Geschlechtsverteilung für die Gruppe II (N = Zahl der Untersuchten)

Das Durchschnittsalter dieser Gruppe lag bei 37 Jahren.

Die Ergebnisse der Muskelclearancebestimmungen gemessen in Ruhe und reaktiver Hyperämie sind in Tabelle 5 zusammengefaßt:

Gruppe II	N	Ruhe (ml/100g/min)	reak.Hyperämie (ml/100g/min)	Verzögerung (sec)	Dauer (sec)
rechts	31	3,67 ± 1,67	53,08 ± 36,44	11,3 ± 6,6	101,6 ± 36,9
links	31	3,48 ± 1,78	41,8 ± 24,46	12,4 ± 7,3	101,6 ± 35,5

Tab. 5: Ergebnisse von 62 Muskelclearancebestimmungen der Gruppe II am rechten und linken Unterarm in Ruhe und reaktiver Hyperämie; dazu die Verzögerungszeit und Dauer der Hyperämie

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, zeigt die Muskeldurchblutung des rechten Armes (3,67 ± 1,67 ml/100 g/min) gegenüber (3,48 ± 1,78 ml/100 g/min) des linken Armes in Ruhe eine kleine Differenz. Diese Differenz wird deutlicher bei der reaktiven Hyperämie, hier handelt es sich um eine Differenz von 11,92 ml/100 g/min (53,08 ml/100 g/min rechts zu 41,8 ml/100 g/min links).

6.3

Gruppe III, leichte Armbelastung:
Für diese Gruppe wurden 32 Muskelclearancebestimmung am rechten und linken Arm durchgeführt. Die Versuchspersonen übten folgende Berufe aus: Prokurist, Postangestellte, Kaufmann, Schüler, Student, Rentnerin, Konstrukteur, Beamte, Betriebsaufseher.

Die untersuchten Personen dieser Gruppe haben folgende Geschlechtsverteilung:

	N	N%
Männer	12	75
Frauen	4	25
gesamt	16	100

Tab. 6: Geschlechtsverteilung der Gruppe III

Das Durchschnittsalter dieser Gruppe lag bei 41,1 Jahren.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Clearancebestimmungen für diese Gruppe dargestellt.

Gruppe III	N	Ruhe (ml/100g/min)	reak.Hyperämie (ml/100g/min)	Verzögerung (sec)	Dauer (sec)
rechts	16	3,0 ± 1,7	45,11 ± 22,75	9,0 ± 4,64	105,9 ± 56,8
links	16	2,75 ± 0,87	44,52 ± 24,78	19,4 ± 15,56	106,9 ± 50,2

Tab. 7: Ergebnisse von Clearancebestimmungen der Gruppe III (leicht) am rechten und am linken Unterarm in der Ruhe und reaktiver Hyperämie, dazu Verzögerungszeit und Dauer der Hyperämie

Die Gruppe III, wie Tabelle 7 zeigt, hat die niedrigsten Muskeldurchblutungswerte. Es ist wieder zu beobachten, daß die Muskeldurchblutung des rechten Armes sowohl in Ruhe (3,0 rechts zu 2,75 ml/100 g/min links) als auch in der reaktiven Hyperämie (45,11 rechts zu 44,52 ml/100 g/min links) höher als die des linken Armes ist.

7 Diskussion der Ergebnisse

7.1

Wie aus der Zusammenstellung der einzelnen Gruppen in Kapitel 6 zu entnehmen war, zeigte die Muskeldurchblutung des rechten Unterarmes sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie bei jeder Untersuchungs-Gruppe einen höheren Wert gegenüber dem linken Arm (Tabelle 3, 5 und 7).

In Ruhe war die Zunahme minimal; deutlicher ist diese Zunahme bei reaktiver Hyperämie.

In Tabelle 8 ist die Differenzwertstatistik rechts-links für Ruhe und reaktive Hyperämie zusammengestellt (siehe Seite 21).

Die "physiologische" Verzögerungszeit ist am rechten Arm, wo höhere Muskeldurchblutungswerte gemessen wurden, kürzer als am linken geblieben (Tab. 3, 5 und 7).

Die reaktive hyperämische Phase blieb am rechten Arm, wo höhere Werte der reaktiven Hyperämie gemessen wurden, kürzer als links (Tab. 3, 5 und 7).

7.2

Es galt zu ermitteln, wie sich die Muskeldurchblutung der oberen Extremität in Bezug auf Intensität der Armbelastung (schwer, mittelgradig, leicht) in Ruhe bzw. reaktiver Hyperämie verhält (siehe Tab. 9, Seite 22).

Wie die Zusammenstellung in Tabelle 9 zeigt, steigt die Muskeldurchblutung sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie mit Steigerung der Armbelastung an. Als Beispiel aus Tabelle 9 stieg die Muskeldurchblutung in Ruhe gemessen am rechten Arm von 3,0 $\pm$ 1,70 ml/100 g/min der Gruppe III (leichte Armbelastung) auf 4,32 $\pm$ 1,81 ml/100 g/min der Gruppe I (starke Armbelastung) an.

Nach der ischämischen Phase ist dieser Unterschied deutlicher geworden (in der reaktiven Hyperämie von 45,11 $\pm$ 22,75 ml/100 g/min der Gruppe III auf 66,31 $\pm$ 29,27 ml/100 g/min der Gruppe I).

In Abbildung 4 sind die Ruhe-Clearance-Werte für die 3 Gruppen graphisch dargestellt, in Abbildung 5 für die reaktive Hyperämie.

Übersicht

(Statistisches Modell: paarweise Δ -Bildung)

Armbelastung	Messung	N	Δ re - li in ml/100 g/min		Δ re - li in % von re
			$\bar{d}$	± sd	
schwere Armbelastung Gruppe I	Ruhe	17	0,03	± 1,4	0,69 %
	reaktive Hyperämie	17	4,36	± 31,20	6,6 %
mittelschwere Armbelastung Gruppe II	Ruhe	31	0,19	± 1,77	1,55 %
	reaktive Hyperämie	31	11,28	± 29,37	21,25 %
leichte Armbelastung Gruppe III	Ruhe	16	0,25	± 1,5	8,33 %
	reaktive Hyperämie	16	0,59	± 21,55	1,3 %

Tab. 8: Differenzwert-Tabelle, paarweise rechts - links (rechts > links) in Ruhe und reaktiver Hyperämie

Gruppe	N	Messung	Rechts Clearance (ml/100g/min) $\bar{X}$ ± s	$\bar{V}$	Links Clearance (ml/100g/min) $\bar{X}$ ± s	$\bar{V}$	$\bar{D}$ re > li
I	17	Ruhe	4,32 ± 1,81	3,31	4,29 ± 2,15	4,66	0,03
		reaktive Hyperämie	66,31 ± 29,27	856,79	61,95 ± 30,36	922,16	4,36
II	31	Ruhe	3,67 ± 1,67	2,83	3,48 ± 1,78	3,54	0,19
		reaktive Hyperämie	53,08 ± 36,44	1328,2	41,80 ± 24,46	589,53	11,28
III	16	Ruhe	3,0 ± 1,70	2,9	2,75 ± 0,87	0,77	0,25
		reaktive Hyperämie	45,11 ± 22,75	528,32	44,52 ± 24,78	613,96	0,59

Tab. 9: Übersicht, Mittelwerttabelle; MDB-Messung mit 133-Xenon am rechten wie auch am linken Unterarm in Ruhe und reaktiver Hyperämie (I = starke Armbelastung, II = mittelgradige Armbelastung, III = leichte Armbelastung)

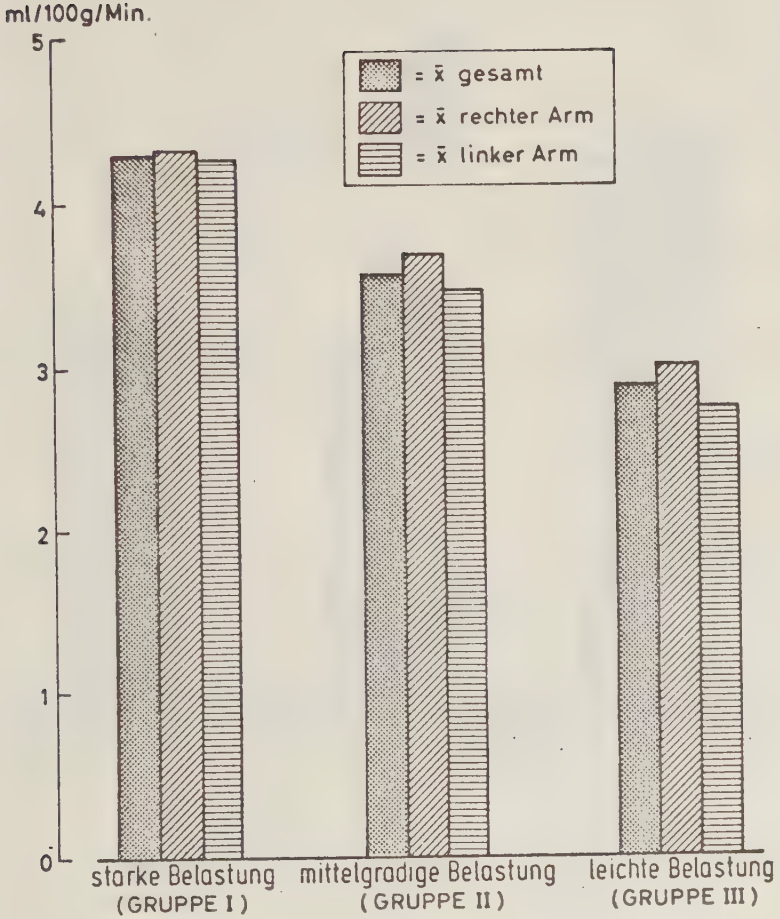

Abbildung 4: Graphische Darstellung der Ruhe-Clearance-werte in den drei Gruppen

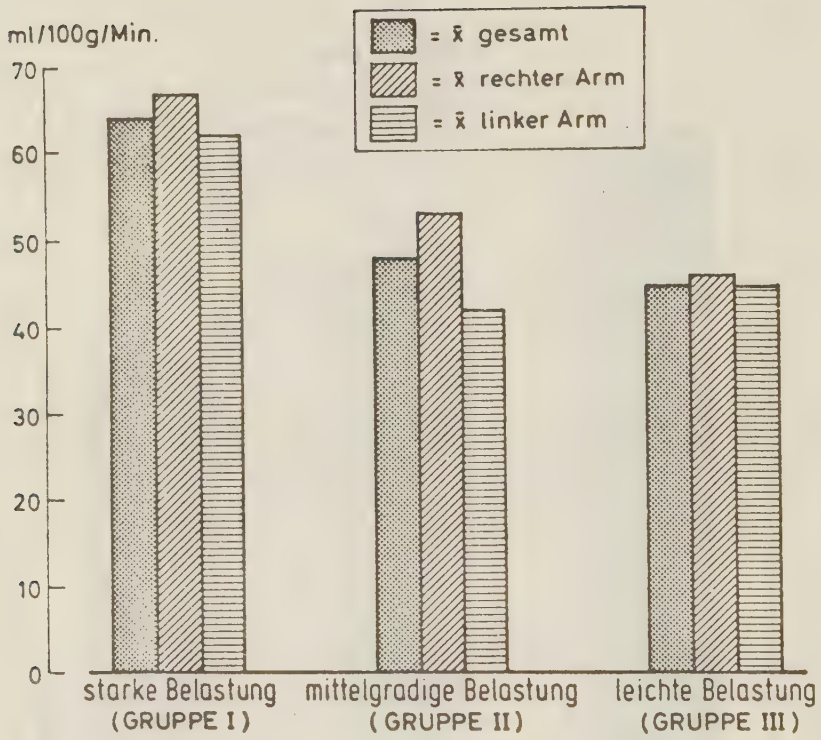

Abbildung 5: Graphische Darstellung der Clearance-werte bei reaktiver Hyperämie in den drei Gruppen

7.3

Über den Mittelwert wurde die Differenzwertbildung und die Signifikanzprüfung zwischen den Gruppen durchgeführt (siehe Tabelle 10, Seite 26).

Wie aus Tabelle 10 zu entnehmen ist, ist ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe I (starke Armbelastung) und der Gruppe III (leichte Armbelastung) zu registrieren sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie.

Zwischen den Gruppen I und II (schwer - mittel) ist ein signifikanter Unterschied in reaktiver Hyperämie links zu verzeichnen.

Der Unterschied zwischen Gruppe II - III ist nur in Ruhemessung rechts signifikant.

8

Es sollte versucht werden, die Muskeldurchblutung des Unterarms auch in Bezug auf das Alter zu bestimmen. Ohne Rücksicht auf die Armarbeit und dessen Belastung wurden die Patienten in Altersgruppen (dekadische Teilung) aufgeteilt.

Bei der Auswertung wurde für jeden Patienten der Durchschnitt aus zwei Messungen (rechter, linker Arm) ausgerechnet. Die Ergebnisse wurden in Tabelle 11 festgelegt.

Alter	N	Ruhemessung (ml/100 g/min)	reaktive Hyperämie (ml/100 g/min)
- 20 Jahre	11	4,45 ± 2,61	58,45 ± 34,23
- 30 Jahre	13	4,46 ± 1,72	49,3 ± 29,51
- 40 Jahre	12	3,61 ± 1,43	56,14 ± 32,11
- 50 Jahre	11	2,91 ± 1,81	40,45 ± 22,32
- 60 Jahre	7	2,53 ± 1,3	50,0 ± 23,71
über 60 Jhr.	7	2,51 ± 1,6	36,94 ± 23,90

Tab. 11: Muskeldurchblutungsmessung am Unterarm, Teilung nach dekadischen Altersgruppen

Differenzwert-Tabelle zwischen den Gruppen
(Über den Mittelwert)

a. Ruhe-Clearance-Messung

	N	mittel - leicht			N	schwer - mittel			N	schwer - leicht		
		- d	Δ in % von leicht	IW		- d	Δ in % von mittel	IW		- d	Δ in % von leicht	IW
Rechts	31/16	0,67	22,33 %	0,5 %	17/31	0,65	17,1 %	(30%)	17/16	1,32	44 %	5 %
Links	31/16	0,73	26,54 %	(20%)	17/31	0,81	23,18 %	(20%)	17/16	1,54	59,63 %	2 %
b. Bei reaktiver Hyperämie												
Rechts	31/16	7,97	17,66 %	(50%)	17/31	13,23	24,92 %	(30 %)	17/16	21,20	46,99 %	5 %
Links	31/16	-2,72	-6,17 %	(80%)	17/31	20,15	48,20 %	2 %	17/16	17,43	39,15 %	(10%)

Tab. 10: Differenzwert und Signifikanzergebnisse zwischen den Gruppen. (..) = bei dieser Irrtumswahrscheinlichkeit ist der Unterschied nicht signifikant

Eine Beziehung zwischen Alter und Muskeldurchblutung des Unterarms ist aus Tabelle 11 in der Ruhemessung zu entnehmen, sie zeigt, daß die Muskeldurchblutung mit steigendem Alter absinkt. Diese Feststellung hat sich in obigem Versuch in der reaktiven Hyperämie nicht bestätigen lassen.

9 Diskussion

Folgende Punkte möchte ich noch zur Diskussion stellen:

a) Eignung der Meßmethode
b) Begründung der besseren Durchblutung bei Armarbeit
c) Statistik
d) Folgerungen für die Messung der Muskeldurchblutung
e) Ist ein verbindlicher Normalwert möglich?

9.1 a) Eignung der Meßmethode:

Eine Untersuchungsmethode, die im Klinikbetrieb ihren Platz behaupten soll, muß mehrere Bedingungen erfüllen, was Zeitdauer und Kompliziertheit des Untersuchungsvorganges, Ungefährlichkeit für Patient und Untersucher, diagnostischen Wert und schließlich auch die Kosten anbelangt.

Die speziellen angiologischen Untersuchungen wie z.B. Arteriographie und Venenverschlußplethysmographie benötigen Zeit und apparativen Aufwand. Vor allem die Arteriendarstellung verlangt vom Arzt langjährige Erfahrung.

Zur Beurteilung des Wertes der Xenon-Methode im Vergleich mit der Venenverschlußplethysmographie muß weiter gesagt werden, daß letztere das gesamte arterielle Einstromvolumen pro Minute bestimmt, während die Xenon-Methode den für die Diagnose wichtigen nutritiven und funktionellen Kreislauf berücksichtigt und nicht durch vorhandene arteriovenöse Kurzschlußverbindungen zu falschen Schlüssen Anlaß gibt.

Die Technik selbst und die Berechnung stellen keine besonderen Anforderungen und sind bei einiger Übung in kurzer Zeit zu erledigen.

Die Handhabung des Isotops ist dadurch ausgezeichnet, daß wegen der Gamma-Strahlung von nur 81 KeV auch ohne Bleiabschirmungen eine Gefährdung von Patient und Untersucher nicht zu befürchten ist. Da Xenon als Gas durch die Lunge abgeatmet wird, besteht ferner keine spezielle Belastung für Niere und Leber. Außerdem ist die Untersuchung schmerzlos und bringt keine Komplikationen mit sich. Da die diagnostische Aussage der Xenon-

Clearance-Methode die physiologische Situation des gesamten Muskels bzw. des betreffenden Körperteils erfaßt, ist allerdings die genauere Lokalisation eines umschriebenen Gefäßprozesses (wie z.B. eines örtlich begrenzten Verschlusses) nicht möglich.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die periphere Durchblutungsmessung mit der Clearancebestimmung von 133-Xenon eine in hohem Maße effektive Methode darstellt, die imstande ist, zuverlässige und objektive Befunde zu erheben. Von großer Bedeutung ist auch, daß diese Methode auch bei der Therapieüberwachung eine ideale Ergänzung anderer Meßmethoden darstellt.

9.2 b) Begründung der besseren Durchblutung bei Armarbeit:

Muskeldurchblutung und Muskelarbeit stehen bei gesunden Personen in einem Regelkreis. Soll der Muskel über längere Zeit arbeitsfähig bleiben, so müssen die von ihm umgesetzten energiereichen Stoffe während des Arbeitsvorganges ersetzt werden. Dazu ist eine ausreichende Sauerstoff- und Nährstoffversorgung sowie ein ausreichender Abtransport der Endprodukte notwendig. Jede Muskelarbeit, bei der Kontraktion und Ruhe in kurzfristiger Folge abwechseln, bewirkt also eine Steigerung der Muskeldurchblutung. Diese wird im allgemeinen kein lokales Ereignis sein, sondern muß sich auf das gesamte Herz- und Kreislaufsystem auswirken.

Bei den Versuchen, die die vorliegende Arbeit behandelt, stieg die Muskeldurchblutung bei der reaktiven Hyperämie, gemessen am rechten Unterarm, an (von 45,11 $\pm$ 22,75 ml/100 g/min der Gruppe III ("leichte Armarbeit") auf 66,31 $\pm$ 29,27 ml/100 g/min der Gruppe I ("starke Armarbeit")). Auch der Ruhewert ist von 3,0 $\pm$ 1,7 ml/100 g/min der Gruppe III auf 4,32 $\pm$ 1,81 ml/100 g/min der Gruppe I gestiegen.

Bei allen drei Gruppen lagen die Durchschnittswerte des rechten Unterarms sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie höher als die Werte des linken, da der rechte Arm während der Arbeit stärker belastet wird.

Folgendes Zitat von KEIDEL (8) soll diesen Punkt der Diskussion abschließen: "Beginnt der Muskel zu arbeiten, so wird die CO_2-

Produktion größer. Infolgedessen wird zunächst der Druckgradient zwischen Muskelfaser und Kapillare zunehmen. Der CO_2-Druck im Gewebe veranlaßt nun, daß sich die kleinsten Arterien erweitern. Dadurch wird die Diffusion zwischen den arbeitenden Muskelfasern und den Kapillaren begünstigt. Die Durchblutung wird nun so lange zunehmen, bis die vermehrte Kohlendioxydmenge abtransportiert ist."

9.3 c) Statistik:

Das Patientengut bestand zu 68,75 % aus männlichem und zu 31,25 % aus weiblichem Geschlecht.

Bei der Einteilung in Gruppen nach Schweregrad der Armbelastung sind die Frauen in Gruppe I nicht vertreten, in Gruppe II machen sie 45,14 % der Gruppe aus, da die Tätigkeit Hausfrau in diese Gruppe aufgenommen wurde.

Wie in Tabelle 1 festgelegt wurde, sind die untersuchten Personen in Bezug auf dekadische Altersgruppen ungefähr gleich stark vertreten.

Das Durchschnittsalter lag bei 38,3 Jahre.

Bei Auswertung der Meßergebnisse bestätigte sich die Abhängigkeit der Armdurchblutung von der Armbelastung immer wieder.

In Rechts-Links-Auswertung "paarweise" zeigte sich ein höherer Durchblutungswert zu Gunsten des rechten Unterarms, der naturgemäß bei Rechtshändern schwerer belastet wird als der linke:

Gruppe I in Ruhe

Δ re - li = 0,69 % von rechts

reaktiver Hyperämie

Δ re - li = 6,6 % von rechts

Gruppe II in Ruhe

Δ re - li = 1,55 % von rechts

reaktiver Hyperämie

Δ re - li = 21,25 % von rechts

Gruppe III in Ruhe

Δ re - li = 8,33 % von rechts

reaktiver Hyperämie

Δ re - li = 1,3 % von rechts

(Werte sind Tabelle 8 entnommen worden)

Mit Steigerung des Schweregrades der Armbelastung stieg von Gruppe zu der anderen die Muskeldurchblutung an, sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie:

Die Differenz zwischen Gruppe I (schwere Armbelastung) und Gruppe III (leichte Armbelastung) in Ruhe von 1,32 ml/100g/min am rechten Arm ist signifikant, auch die von 1,54 ml/100g/min am linken Arm ist signifikant, in reaktiver Hyperämie ist ein signifikanter Unterschied von 21,20 ml/100 g/min am rechten Arm zu registrieren, am linken Arm ist der Unterschied von 17,43 ml/100 g/min nicht signifikant.

Die Differenz zwischen Gruppe I und II (mittelgradige Armbelastung ist in Ruhe:

rechts 0,65 ml/100 g/min nicht signifikant
links 0,81 ml/100 g/min nicht signifikant,

in reaktiver Hyperämie:

rechts 13,23 ml/100 g/min nicht signifikant
links 20,15 ml/100 g/min hoch signifikant.

Die Differenz zwischen Gruppe II und III in Ruhe:

rechts 0,67 ml/100 g/min signifikant
links 0,73 ml/100 g/min nicht signifikant,

in reaktiver Hyperämie:

rechts 7,97 ml/100 g/min nicht signifikant
links -2,72 ml/100 g/min nicht signifikant.

Die Zugehörigkeit einer Muskeldurchblutungsmessung zu einer Gruppe erfolgte automatisch nach dem angegebenen Beruf des Untersuchten. Es ist schwer genau festzustellen, ob der Patient den angegebenen Beruf seit langer Zeit ausübt und wie schwer die tatsächliche Armbelastung dadurch ist. Eine genauere Begrenzung der Zugehörigkeit kann man am besten bei Gruppe I (starke Armbelastung) und Gruppe III (schwache oder leichte Armbelastung) erzielen. Das hat sich bei der Auswertung bestätigt, wo die Differenz zwischen Gruppe I und III sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie hoch signifikant ist.

9.4 d) Folgerungen für die Messung der Muskeldurchblutung:

Die vorliegende Arbeit versuchte gewisse Anhaltspunkte für die Messung der Muskeldurchblutung der oberen Extremität mit Hil-

fe der 133-Xenon-Clearance zu geben.

Bei der Messung der Muskeldurchblutung der Arme ist Folgendes zu beachten:

1.) Der Schweregrad der Armbelastung während des ausgeübten Berufes (je stärker die Armbelastung, desto höher ist das Muskeldurchblutungsvolumen).

2.) Der Rechts-Links-Unterschied (bei gesunden Rechtshändern ist die Muskeldurchblutung des rechten Armes größer als die des linken).

3.) Die Notwendigkeit der Messung in Ruhe und in reaktiver Hyperämie nach einer ischämischen Phase.

4.) Alter und Geschlecht.

9.5 e) Ist ein verbindlicher Normalwert möglich?

Obwohl die Zahl der untersuchten Personen nicht groß genug war, um einen verbindlichen Normalwert zu ermitteln, können zur allgemeinen Orientierung die Meßwerte der Gruppe III (leichte Armbelastung) die untere Grenze der Muskeldurchblutung bei leichter Belastung des Unterarms (während ihres Berufes) repräsentieren. Ebenso können die Meßwerte der Gruppe I (starke Armbelastung) als obere Grenze der Muskeldurchblutung für starke Belastung des Unterarms (während ihres Berufes) in Betracht gezogen werden. Werte, die jenseits dieser beiden Grenzwerte liegen, sollten mit Skepsis betrachtet werden und bedürfen zur Abklärung weiterer Untersuchungen.

10 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Muskeldurchblutung von 128 klinisch gesunden oberen Extremitäten in Ruhe und reaktiver Hyperämie mit der 133-Xenon-Clearance-Methode bestimmt. Hierzu wurde die Verzögerungszeit und die Dauer der reaktiven Hyperämie überprüft.

Die bezüglich auf die Armdurchblutung gesunden Patienten (die Patienten lagen in den Kliniken zur Behandlung anderer Krankheiten) wurden in 3 Gruppen steigenden Schweregrades ihrer Armbelastung durch die von ihnen ausgeübte Arbeit eingeteilt.

Alters- und Geschlechtsverteilung des Patientenkollektivs wurden aufgestellt. Es handelte sich um 68,75 % Männer und 31,25 % Frauen. Das Durchschnittsalter lag bei 38,3 Jahren.

Die Einteilung für die einzelnen Gruppen erfolgte in Clearancebestimmungen rechts und links. Die Ergebnisse wurden anschließend ausgewertet und diskutiert.

In der Clearancebestimmung rechts und links zeigten sich in den einzelnen Gruppen höhere Durchblutungswerte des rechten Armes als des linken sowohl in Ruhe als auch bei reaktiver Hyperämie.

Als Durchschnittswerte ergaben sich:
für Gruppe I:
Clearance in Ruhe: rechts 4,32 ml/100 g/min
links 4,29 ml/100 g/min,
Clearance bei reaktiver Hyperämie: rechts 66,31 ml/100 g/min
links 61,95 ml/100 g/min;

für Gruppe II:
Clearance in Ruhe: rechts 3,67 ml/100 g/min
links 3,48 ml/100 g/min,
Clearance bei reaktiver Hyperämie: rechts 53,08 ml/100 g/min
links 41,80 ml/100 g/min;

für Gruppe III:
Clearance in Ruhe: rechts 3,0 ml/100 g/min
links 2,75 ml/100 g/min,

Clearance bei reaktiver Hyperämie: rechts 45,11 ml/100 g/min
links 44,52 ml/100 g/min.

Mit steigender Armbelastung zeigte sich von einer Gruppe zur anderen eine Zunahme der Muskeldurchblutung sowohl in Ruhe als auch in reaktiver Hyperämie. Als Durchschnittswerte ergaben sich z.B. am rechten Arm:

in Ruhe:

Gruppe III	(leichte Armarbeit)	3,0 ± 1,70 ml/100g/min
Gruppe II	(mittelgradige Armarbeit)	3,67 ± 1,67 ml/100g/min
Gruppe I	(starke Armarbeit)	4,32 ± 1,81 ml/100g/min

in reaktiver Hyperämie:

Gruppe III	45,11 ± 22,75 ml/100g/min
Gruppe II	53,08 ± 36,44 ml/100g/min
Gruppe I	66,31 ± 29,27 ml/100g/min.

Stärkere Armbelastung während des Berufes erhöht also die Muskeldurchblutung in Ruhe und bei reaktiver Hyperämie.

Diese Tatsache wie die anderen erwähnten Meßdaten läßt sich auch besonders präzise und zeit- und mühesparend mit der Xenon-Clearance-Methode aufzeigen.

11 Literaturverzeichnis

(1) CONN, H.D. jr. — Equilibrium distribtion of radioxenon in tissue: Xenon-hämoglobin association curve. J.appl.physio. 16, 1065 (1961)

(2) FRAIZEL, H. — 133-Xenon-Muskelclearance als Prüfparameter für die Wirkung von Angiopharmaka dargestellt an der Durchblutungsstörung der unteren Extremitäten. Inaug.Diss.1971, München

(3) HESS, H. — Eine Methode zur Messung des Blutanstroms in die Extremitäten. Klin.Wschr. S.175, München

(4) HYMAN, C. — Symposion on Clinical Evaluation of Testing methods of Vasoaktive Drug Effekts.

(5) KLEMM, J. — Besitzt die 133-Xenon-clearance-methode zur Muskeldurchblutungsbestimmung klinische Routinereife? in "Radionuklide in Kreislaufforschung und Kreislaufdiagnostik" 5.Jahrestagung der Gesellschaft für Nuclearmedizin in Wien 1967

(6) KETY, S.S. — Quantitative measurment of regional circulation by the clearance of radioaktive sodium. Am.J.Med.Sc. 215, 325 (1948)

(7) KETY, S.S. — Blood flow in muskle as measured by clearance of a radioaktive substance Symp. on circulation and homeostasis. Med.sci.pub. 3, 128 (1953)

(8) KEIDEL, W.D. — Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1967

(9) LASSEN, N.A., LINDBJERG, I.F., MUNCK, O. — Measurement of blood flow through the skeletal muscle by intramuscular injection of 133-xenon. Lancet I, 686 (1964)

(10) PESCHARTSCHEK, W. — Die 133-Xenon-muskel-clearance. Inaug.Diss. 1969, München

(11) PABST, H.W.
WALSCHER, W.
Kreislauftest mit Radioaktivem Jod.
Klin.Wschr. 30, 1011 (1952)

(12) PABST, H.W.
Methoden und Ergebnisse des Studiums der peripheren Zirkulation mit radioaktiven Isotopen
Strahlentherapie, Bd. 102, 4, 600 (1957)

(13) PFLEGHAR, F.
Untersuchungen über die Verwendbarkeit der 133-Xenon-muskel-clearance in der angiologischen Diagnostik.
Inaug.Diss. 1971, München

(14) SMITH, B.C.
Quimby, E.A.
The use of radioaktive sodium of circulation in patient with peripheral vascular disease.
Surg.Gyn.Obstetr. 79, 124 (1944)

(15) WAGNER, H.N. jr. u.a.
A method for the study of the peripheral circulation in man
J.nucl.Med. 6, 150 (1965)

(16) WESTPHAL, W.H.
Kleines Lehrbuch der Physik.
J.Springer Verlag, Berlin 1963

11 Lebenslauf

Am 14. Oktober 1942 wurde ich in Zarka/Jordanien als Sohn des damaligen Offiziers Yosif Helou und seiner Ehefrau Wardeh geboren.

Aufgewachsen bin ich in Rama/Nazareth-Israel, wohin sich meine Eltern 1943 zurückzogen. (Die Heimat meiner Eltern ist das damalige Palästina.)

Dort besuchte ich die Volksschule und anschließend das humanistische Gymnasium in Rama (Secondary School). Im Jahre 1960 legte ich die Reifeprüfung ab. Bis 1964 arbeitete ich als Sekretär des Rathauses in Rama.

1965 kam ich nach München, um hier zu studieren. Im Sommer-Semester 1966, nachdem ich die Zulassungsprüfung mit Erfolg ablegte, begann ich das Studium der Medizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Im Jahre 1967 bestand ich die Naturwissenschaftliche Prüfung, die Ärztliche Vorprüfung im Jahre 1969.

Für die freundliche Überlassung des Themas danke ich Herrn Prof. Dr. Moll.

Herrn Akad. Direktor Dr. med. J. Klemm, Leiter der Röntgenabteilung der II. Medizinischen Universitätsklinik München, gilt mein besonderer Dank. Herr Dr. Klemm gab die Anregung zu dieser Arbeit und hat mich während der theoretischen Auswertung der Ergebnisse und beim Schreiben der Dissertation jederzeit bereitwillig beraten und großzügig gefördert.